



(57) 摘要

本发明涉及大地电磁波电阻率的测量方法和仪器，通过电场传感器、磁场传感器和数据采集器对地层进行采样，确定深度系数和校正表层深度系数，根据地层深度（H）与传播频率（F）之间的基本关系式、电磁波电阻率（ ρ ）与深度（H）之间的基本关系式，并建立坐标观察系统，由采集控制、数据存储及处理系统实现对大地电磁波电阻率进行连续测量。本发明利用实际数据直接标定频率与深度的关系，改变了利用多变量理论公式求取地层深度厚度的传统方法，使地层电阻率成为唯一的变量，大大提高了测量精度，并且利用仪器对采集资料进行现场处理，随时获得随深度变化的电磁波电阻率曲线，可直接应用于矿藏勘探，减少部分钻井，提高了勘探的整体效益。

IAP20 Rec'd PCT/PTO 22 JUN 2006

大地电磁波电阻率测量方法及其仪器

技术领域

本发明涉及一种地球物理勘探的方法和仪器，具体地说，涉及一种直接将频率转变为深度的大地电磁波电阻率测量方法及其仪器。

背景技术

传统的大地电磁测深法始于上世纪五十年代，距今已有五十多年历史。它是基于电磁感应原理，用于研究地球电性的一种地球物理方法。在研究地球电性的多种电法和电磁法中，大地电磁测深法具有探测深度大，不受高阻层屏蔽，分辨能力较强，等值范围较窄，工作成本低廉和野外装备较轻便等特点。在很大程度上，这是由于大地电磁测深法利用了频带非常宽阔的、能量巨大的天然交变电磁场源的结果。大地电磁测深法建立在电磁波波动方程的基础上，它的标量阻抗理论的假设前提是平面电磁波垂直入射到地球表面，地层为水平层状介质。当地层为水平非均匀构造及存在各向异性时，地层阻抗随时间及测量方向而变化，这时采用大地电磁测深张量阻抗理论。根据大地电磁测深基本理论，苏、美、法、德、加等国家研制了各种大地电磁测深仪器，我国也研制了大地电磁测深仪器。根据大地测深理论，提出了对野外观测资料的解释方法。其中定量解释主要根据视电阻率曲线反演地下的电性分层。大地电磁测深实测曲线的电子计算机自动反演，通常根据给定的初始参数（ H_i 、 ρ_i ）计算出理论曲线，然后与一条实测曲线进行对比，按最小方差原理不断修改参数，找出一条与实测曲线拟合最好的理论曲线，这条理论曲线所对应的参数就是反演的解。后来又提出了一维连续模型的大地电磁测深反演方法。把地球介质的电阻率视为各向同性随深度连续变化的函数。它仍然是从初始模型出发，计算理论曲线，与实测曲线对比，修改初始模型，逐次逼近实测曲线，最后获得经过唯一性评价的电阻率随深度连续变化的曲线。大地电磁测深法应用于地壳上地幔研究，普查勘探沉积盆地和含油气构造，寻找和勘探热田，进行地震预报和寻找金属矿产，地下水源等方面。

虽然大地电磁测深法已经得到较广泛应用。但是由于它的勘探精度不高，其分层厚度往往是以百米计，甚致数千米，很少见到数十米的情况。因此它在矿藏勘探中难于发挥更大作用。此外其勘探效率有待进一步提高。

发明内容

本发明的目的是克服上述缺陷，提供一种探测深度大，不受高阻层屏蔽，高精度、高效率的大地电磁波电阻率测量方法和仪器。

本发明所述的大地电磁波电阻率测量方法，该方法通过电场传感器、磁场传感器和与其相连的数据采集器对地层进行采样，并根据地层深度与传播频率之间的基本关系式、电磁波电阻率与深度之间的基本关系式，对采样数据进行采集控制、数据存储与处理，实现对大地电磁波电阻率进行连续测量，其步骤是：

第一步，建立线性坐标观察系统，预置初始采集参数：

在所建立的线性坐标观察系统中，频率与深度的关系式为：

$$F = a + bK' / H \quad (1)$$

式中：F为频率，单位为赫兹，

H为深度，单位为米，

a为表层系数，是一个较小的值，在第一步工作中可忽略，

b为区域性地层电阻率随深度的增长系数，其值设定为0.1，

K'为电磁波在地层中传播定义的探测深度值；

预置的初始采集参数为：起始测量深度值H1、终止测量深度值H2、采样间隔值S，其中，H1、H2、S的单位为米；

第二步，确定深度系数：

在探区或相邻地区，选择已知钻井，并在已知钻井旁进行探测，测取一条电磁波电阻率曲线，用该曲线与已知钻井的电磁波电阻率曲线进行对比，按下列步骤确定参数B：

在测得的电磁波电阻率曲线上截取一段与已知钻井中的电测电阻率曲线进行比较，按下式求得采样间隔 S'：

$$S' = (H_{p2} - H_{p1}) / (L_2 - L_1) \quad (2)$$

式中：H_{p1}为已钻探井的第1个测井曲线特征点的深度，单位为米，

H_{p2}为已钻探井的第2个测井曲线特征点的深度，单位为米，

L₁为新测探的与第1个测井特征点相似特征的电磁波电阻率曲线的采集点号数，

L₂为新测探的与第2个测井特征点相似特征的电磁波电阻率曲线的采集点号数，

$$\text{令 } E = S' / S, \quad (3)$$

有 $B = E_b K'$,

B 为实际确定的深度系数，用以取代（1）式中的 bK' 值，进行频率深度关系变换；经过简化之后，（1）式为：

$$H = BT \quad (4)$$

式中， T 为周期，单位为微秒；

第三步，校正表层深度系数：

用第二步确定的曲线与已知钻井电阻率曲线进行全测量段比较，各特征深度点之间存在的系统误差值为：

$$Ha = Hd - Hc \quad (5)$$

式中， Ha 为表层深度系数，

Hd 为已知钻井电测井曲线特征点深度，

Hc 为探测电磁波电阻率曲线同一特征点深度， Ha 、 Hd 、 Hc 的单位为米；

用所述表层深度系数 Ha 对探测电磁波电阻率曲线测量深度进行表层深度校正，校正后的起始深度为：

$$H_{1,j} = H_1 \pm Ha;$$

第四步，选择其他采集参数：

（1）根据设计要求确定采集开始/结束深度；

（2）选择采样间隔：

a、进行区域地层对比，追踪大地层电性界面时采用：5m、10m、20m，

b、进行矿层（油层、煤层、金属矿层）、裂缝带追踪与探测时采用：0.2m、0.5m、1m，

c、设置采样点数：结束深度 $\leq 1000m$ ，取8点，

结束深度 $\leq 2000m$ ，取16点，

结束深度 $\leq 4000m$ ，取32点，

结束深度 $\leq 8000m$ ，取64点，

d、采样周期数的对应值为：128，64，32，16；

（3）设置通道增益：在使用双传感器时，选择第一通道、第二通道，在使用多传感器时，选择第一通道至第八通道；

（4）、低通滤波器设置：在工业电源干扰较强地区及浅层测量时使用自动跟踪滤波，在工

业电源干扰弱地区及深层测量时可以不使用自动跟踪滤波；

第五步，资料的采集与现场处理：

采用经上述步骤标定与设值的仪器，进行资料的采集并确认符合原始资料质量标准。然后，进行资料的现场处理，将采集记录文件调入所述采集控制、数据存储与处理系统的程序中，输入所述起始深度和采样间隔，进行数据处理并在界面上确定纵横坐标的比例，获取数据处理成果图。

本发明所述的大地电磁波电阻率测量方法，其中选择所述已知钻井的条件是：（1）地层有代表性；（2）有电阻率测井资料或钻井取芯等资料；（3）地层倾角≤15度；（4）地面无强工业电网等干扰。

本发明所述的大地电磁波电阻率测量仪器，其中包括接收电场强度信号的电场传感器和接收磁场强度信号的磁场传感器、至少两套分别与所述电场传感器和所述磁场传感器的相连的前置放大器和与所述前置放大器的相连的数据采集器以及一个采集控制、数据存储及处理系统，所述数据采集器与所述采集控制、数据存储及处理系统通过数据总线和控制总线相连；所述采集控制、数据存储及处理系统存储有地层深度与传播频率之间的H—F基本关系式、电磁波电阻率与深度之间的ρ—H基本关系式，以及根据所述基本关系式对数据进行存储与处理，实现对大地电磁波电阻率进行连续测量的程序序列。

本发明所述的大地电磁波电阻率测量仪器，其中所述采集控制、数据存储与处理系统采用笔记本电脑并设有打印机端口。

本发明所述的大地电磁波电阻率测量仪器，其中所述电场传感器包括至少一对铅电极或者其它不极化电极，或者铜电极；所述磁场传感器采用多匝环形感应线圈，或者具有磁通负反馈的多匝环形感应线圈。

本发明所述的大地电磁波电阻率测量仪器，其中所述前置放大器包括输入放大器、多级陷波器、低通滤波器及输出放大器。

本发明所述的大地电磁波电阻率测量仪器，其中所述数据采集器为高速数据采集器。

本发明提供了一种探测深度大，不受高阻层屏蔽，高精度、高效率的大地电磁波电阻率测量方法和仪器，实现了对大地电磁波电阻率进行连续测量。这一方法利用实际数据直接标定频率与深度的关系，改变了传统上利用多变量理论公式求取地层深度厚度的方法，使地层电阻率成为唯一的变量，大大提高了电磁测深测量精度，并且利用仪器对采集资料进行现场处理，随

时获得随深度变化的电磁波电阻率曲线，可直接应用于矿藏勘探，减少部分钻井，提高了勘探的整体效益。经过大量实测资料的验证，该大地电磁波电阻率测量仪器达到了下列指标：

深度误差：有井标定的地区，其误差不大于5%；

分层精度：高电阻率地层≥1米；

低电阻率地层≥0.5米；

探测深度：40-8000m，

300-8000m(在地面电磁干扰严重地区)；

探测时间：每个测量点次，(测量深度≤4000m)工作时间≤1h；

仪器器重量：20kg，对施工场地要求简单。

附图说明

图1是本发明大地电磁波电阻率测量仪器的方框图；

图2是本发明大地电磁波电阻率测量仪器中前置放大滤波器的方框图；

图3是本发明大地电磁波电阻率测量仪器的数据处理成果图。

发明的最佳实施方式

本发明大地电磁波电阻率测量方法和仪器的技术创新思路是：在一定的条件下，地层深度与电磁波的传播频率呈线性关系，利用实际数据直接标定频率与深度的关系，改变利用多变量理论公式求取地层深度厚度的传统方法，使地层电阻率成为唯一的变量，只要获得每个采集深度点上的电场强度、磁场强度，便可以得到随深度连续变化的电阻率曲线。

电磁波传播理论指出，场强在地层中传播呈指数规律变化，或者说电场的振幅随地层深度呈指数规律衰减，传统电磁波方法，利用趋肤深度估计仪器的探测深度。本发明所指的探测深度取决于仪器的灵敏度和入射场源的强度。入射场源强度一定时，仪器灵敏度越高探测深度越深。探测深度有一个较宽的变化范围，例如定义振幅衰减到 $1/e^3$ 时(5%)为仪器的探测深度，则探测深度K'值是三倍趋肤深度K值。这个探测深度是现在的仪器灵敏度能够达到的。在一定的条件下，地层深度与电磁波的传播频率呈线性关系。

首先，介绍按照本发明技术思路设计的大地电磁波电阻率测量仪器。

参见图1，本发明大地电磁波电阻率测量仪器由五部分组成：接收电场强度信号的电场传感器1，接收磁场强度信号的磁场传感器2，两个前置放大与滤波器3，数据采集系统4和采集控制、数据存储及处理系统5。

所述电场传感器1的输出端连接到前置放大与滤波器3的输入端，磁场传感器2的输出端连接到另一个前置放大与滤波器3的输入端，两个(或多个)前置放大与滤波器3的输出端分别连接到数据采集系统的两个(或多个)输入端CH1 CH2...CHn数据采集系统4与采集控制及数据存储与处理系统5的连接有两种方式：方式1，数据采集系统4的并行端口(PARALLEL PORT)与采集控制及数据存储与处理系统5的打印机端口连接；方式2，数据采集系统4的并行端口(PARALLEL PORT)与采集控制和数据存储与处理系统5的并行端口连接。数据采集系统的数据传输给采集控制及数据存储与处理系统，同时采集控制及数据存储与处理系统向数据采集系统输送控制、采集指令。

所述电场传感器1由一对(或多对)铜电极或者铅电极组成，或者采用其他不极化电极铜电极磁场传感器一般情况用多匝环形感应线圈，或者使用具有磁通负反馈的多匝环形感应线圈。两个传感器分别接收电场强度信号(E_x)和磁场强度信号(H_y)。

参见图2，前置放大与滤波器3由放大器、多级陷波器、低通滤波器及输出级组成，对由电场、磁场传感器接收的信号进行放大，并滤掉由工业电源及其谐波造成的干扰，防止混迭干扰的产生。

所述数据采集系统4用通用的高速数据采集器。其主要性能：采样率：.1MHz并可受程序控制调节，通道数： ≥ 6 ，A/D转换：12或16位，可调增益：1-100，波形同步，程控抗混迭滤波器。数据采集系统在程序控制下，对前置放大滤波器输入的模拟信号数字化，把按频率分组的数字信号输出到采集控制及数据存储与处理系统5。

所述采集控制、数据存储及处理系统5为高性能笔记本电脑，其内存储有根据方法中频率深度基本方程式 $F = a + B/H$ 的程序，以及预置各项测量参数的程序，其主要任务是对数据采集系统进行程序控制，按照要求完成预定的数据采集任务，并将成果数据纪录在硬盘中。电脑内还存储有数据处理的程序，根据大地电磁测深中的基本关系式： $\rho = |E_x/H_y|^2/\omega \mu$ ，将采集的电场强度 E_x 和磁场强度 H_y 转换为电磁波电阻率。并可将最终成果打印输出。

仪器控制软件的设计充分体现技术思路，为了采集到不同深度的信息，不断改变采集频率，可以采集到相应深度点上的电场强度、磁场强度。最高可以按0.2米的深度等间隔采样；可以从技术指标范围内任意深度点对任意深度段采样；实时显示随深度线性变化的电场强度、磁场强度曲线；利用数据处理软件对采集资料进行现场处理，获得随深度H变化的电磁波电阻率曲线 ρ 。

下面，说明本发明大地电磁波电阻率测量的方法，该方法的步骤是：

第一步，建立线性坐标观察系统，预置初始采集参数：

在所建立的线性坐标观察系统中，频率与深度的关系式为：

$$F = a + bK' / H \quad (1)$$

式中：F为频率，单位为赫兹，

H为深度，单位为米，

a为表层系数，是一个较小的值，在第一步工作中可忽略，

b为区域性地层电阻率随深度的增长系数，其值设定为0.1，

K'为电磁波在地层中传播定义的探测深度值；

预置的初始采集参数为：起始测量深度值H1、终止测量深度值H2、采样间隔值S，其中，H1、H2、S的单位为米。

测量前，按照设计要求的起始测量深度值H1、终止测量深度值H2、采样间隔值S，转换为由关系式(1)确定的F参数预置到大地电磁波电阻率测量仪器各参数界面，使仪器正常运行。

第二步，确定深度系数B：

首先，应当在探区或相邻地区，选择一口已知钻井。已知钻井的条件应当符合以下条件：

1、地层有代表性；2、有电阻率测井资料或钻井取芯等资料；3、地层倾角≤15度；4、地面无强工业电网等干扰。在没有已知钻井的新区，可以利用以前的与这个区块类似的其他区域的深度系数或者具有电性特征的其他地层分层资料。

选择已知钻井后，在已知钻井旁进行探测，测取一条电磁波电阻率曲线，用该曲线与已知钻井的电磁波电阻率曲线对比两条曲线是否在各特征点上是相似的。如果他们的相关性不好，按一定角度旋转电场传感器和磁场传感器的方向，重新进行采集，直到找到一条相关性最好的曲线为止。此时所测曲线纵坐标是电磁波电阻率、电场强度、磁场强度，横坐标是采集点序号。

然后，按下列步骤确定参数B：

在测得的电磁波电阻率曲线上截取一段与已知钻井中的电测电阻率曲线进行比较，按下式求得采样间隔 S' ：

$$S' = (H_{p2} - H_{p1}) / (L_2 - L_1) \quad (2)$$

式中： H_{p1} 为已钻探井的第1个测井曲线特征点的深度，单位为米，

H_{p2} 为已钻探井的第2个测井曲线特征点的深度，单位为米，

L_1 为新测探的与第1个测井特征点相似特征的电磁波电阻率曲线的采集点号数，

L_2 为新测探的与第2个测井特征点相似特征的电磁波电阻率曲线的采集点号数，

$$\text{令 } E = S' / S, \quad (3)$$

$$\text{有 } B = EbK',$$

B 为实际确定的深度系数，用以取代（1）式中的 bK' 值，进行频率深度关系变换；经过简化之后，（1）式为：

$$H = BT \quad (4)$$

式中， T 为周期，单位为微秒， B 的取值范围在 0.001—1.000 之间。

在没有深度标定井的新区，可以利用以前的与这个区块类似的其他区域的深度系数，对基本关系式进行标定后进行测量，也能获得较为满意的效果。仪器预置了一套经过实践检验的深度系数参数供使用。

第三步，校正表层深度系数 H_a ：

用第二步确定的曲线与已知钻井电阻率曲线进行全测量段比较，各特征深度点之间存在的系统误差值为：

$$H_a = H_d - H_c \quad (5)$$

式中， H_a 为表层深度系数，

H_d 为已知钻井电测井曲线特征点深度，

H_c 为探测电磁波电阻率曲线同一特征点深度， H_a 、 H_d 、 H_c 的单位为米；

用所述表层深度系数 H_a 对探测电磁波电阻率曲线测量深度进行表层深度校正，校正后的起始深度为：

$$H_{1j} = H_1 \pm H_a.$$

第四步，选择其他采集参数：

（1）根据设计要求确定采集开始/结束深度；

(2) 选择采样间隔:

- a、进行区域地层对比，追踪大地层电性界面时采用：5m、10m、20m，
- b、进行矿层（油层、煤层、金属矿层）、裂缝带追踪与探测时采用：0.2m、0.5m、1m，
- c、设置采样点数：结束深度≤1000m，取8点，

结束深度≤2000m，取16点，

结束深度≤4000m，取32点，

结束深度≤8000m，取64点，

- d、采样周期数的对应值为：128，64，32，16；

(3) 设置通道增益：在使用双传感器时，选择第一通道CH1、第二通道CH2，在使用多传感器时，选择第一通道至第八通道CH1-8，在保证目的层段信号采集基础上，选择较低增益可以抑制交流工业电源干扰；

(4) 低通滤波器设置：在工业电源干扰较强地区及浅层测量时使用自动跟踪滤波，在工业电源干扰弱地区及深层测量时可以不使用自动跟踪滤波。

第五步，资料的采集与现场处理：

采用经上述步骤标定与设值的仪器，进行资料的采集并确认符合原始资料质量标准。然后，进行资料的现场处理，将采集记录文件调入所述采集控制、数据存储与处理系统的程序中，输入所述起始深度和经过校正的采样间隔，进行数据处理并在界面上确定纵横坐标的比例，获取数据处理成果图。参见图3，其中横坐标为线性坐标，表示深度，深度比例可以根据要求进行调节；纵坐标：在上曲线中表示电磁波电阻率，具有线性和对数两种坐标供选择，在中曲线中表示电场强度，在下曲线中表示磁场强度，比例均可以调节。

工业实用性

本发明所述的方法与现有大地电磁测量法相比，探测深度相同时，分层精度大大提高，使得大地电磁测深由只能进行区域普查进入勘探阶段，甚至可以少打一部分钻井，大大提高勘探整体效益。在测取同样的深度的情况下，对仪器灵敏度要求低得多，有利于仪器的制造。其测量时间缩短，外界干扰、仪器漂移、电极极化等影响减少，效率得到了提高。对野外观测资料的解释变得简单，在一维解释中，当深度确定以后，只需要读取深度点上的电场强度和磁场强度便可容易的获得电磁波电阻率，可以方便地实现实时处理解释。由于不进行钻井便可以测得

一条随深度变化的电阻率曲线，大大拓宽了利用地面地球物理勘探解决地质问题的能力。例如，油田水淹层监测，寻找裂缝带的分布，层间对比，煤层、金属矿层的追踪等等。大地电磁波电阻率测量方法和仪器成为一种运用于各个勘探阶段的有效方法和手段，从而提高总体勘探效益，同时为深部勘探提供一种有效手段。此外，本发明也可以运用到有源的电磁测深中。

权 利 要 求

1、大地电磁波电阻率测量方法，该方法通过电场传感器、磁场传感器和与其相连的数据采集器对地层进行采样，并根据地层深度（H）与传播频率（F）之间的基本关系式、电磁波电阻率（ρ）与深度（H）之间的基本关系式，对采样数据进行采集控制、数据存储与处理，实现对大地电磁波电阻率进行连续测量，其步骤是：

第一步，建立线性坐标观察系统，预置初始采集参数：

在所建立的线性坐标观察系统中，频率与深度的关系式为：

$$F = a + bK' / H \quad (1)$$

式中：F为频率，单位为赫兹，

H为深度，单位为米，

a为表层系数，是一个较小的值，在第一步工作中可忽略，

b为区域性地层电阻率随深度的增长系数，其值设定为0.1，

K' 为电磁波在地层中传播定义的探测深度值；

预置的初始采集参数为：起始测量深度值(H1)、终止测量深度值(H2)、采样间隔值(S)，其中，H1、H2、S的单位为米；

第二步，确定深度系数(B)：

在探区或相邻地区，选择已知钻井，并在已知钻井旁进行探测，测取一条电磁波电阻率曲线，用该曲线与已知钻井的电磁波电阻率曲线进行对比，按下列步骤确定参数B：

在测得的电磁波电阻率曲线上截取一段与已知钻井中的电测电阻率曲线进行比较，按下式求得采样间隔 S'：

$$S' = (H_{p2} - H_{p1}) / (L_2 - L_1) \quad (2)$$

式中：H_{p1}为已钻探井的第1个测井曲线特征点的深度，单位为米，

H_{p2}为已钻探井的第2个测井曲线特征点的深度，单位为米，

L₁为新测探的与第1个测井特征点相似特征的电磁波电阻率曲线的采集点号数，

L₂为新测探的与第2个测井特征点相似特征的电磁波电阻率曲线的采集点号数，

$$\text{令 } E = S' / S, \quad (3)$$

$$\text{有 } B = EbK',$$

B为实际确定的深度系数，用以取代（1）式中的 bK' 值，进行频率深度关系变换；经过简化之后，（1）式为：

$$H=BT \quad (4)$$

式中，T为周期，单位为微秒，B的取值范围在0.001—1.000之间；

第三步，校正表层深度系数（Ha）：

用第二步确定的曲线与已知钻井电阻率曲线进行全测量段比较，各特征深度点之间存在的系统误差值为：

$$Ha=Hd-Hc \quad (5)$$

式中，Ha为表层深度系数，

Hd为已知钻井电测井曲线特征点深度，

Hc为探测电磁波电阻率曲线同一特征点深度，Ha、Hd、Hc的单位为米；

用所述表层深度系数Ha对探测电磁波电阻率曲线测量深度进行表层深度校正，校正后的起始深度为：

$$H_{1,j}=H_1 \pm Ha;$$

第四步，选择其他采集参数：

（1）根据设计要求确定采集开始/结束深度；

（2）选择采样间隔：

a、进行区域地层对比，追踪大地层电性界面时采用：5m、10m、20m，

b、进行矿层（油层、煤层、金属矿层）、裂缝带追踪与探测时采用：0.2m、0.5m、1m，

c、设置采样点数：结束深度≤1000m，取8点，

结束深度≤2000m，取16点，

结束深度≤4000m，取32点，

结束深度≤8000m，取64点，

d、采样周期数的对应值为：128，64，32，16；

（3）设置通道增益：在使用双传感器时，选择第一通道（CH1）、第二通道（CH2），在使用多传感器时，选择第一通道至第八通道（CH1-8）；

（4）、低通滤波器设置：在工业电源干扰较强地区及浅层测量时使用自动跟踪滤波，在工业电源干扰弱地区及深层测量时可以不使用自动跟踪滤波；

第五步，资料的采集与现场处理：

采用经上述步骤标定与设值的仪器，进行资料的采集并确认符合原始资料质量标准。然后，进行资料的现场处理，将采集记录文件调入所述采集控制、数据存储与处理系统的程序中，输入所述起始深度和经过校正的采样间隔，进行数据处理并在界面上确定纵横坐标的比例，获取数据处理成果图。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征是选择所述已知钻井的条件是：（1）地层有代表性；（2）有电阻率测井资料或钻井取芯等资料；（3）地层倾角≤15度；（4）地面无强工业电网等干扰。

3、大地电磁波电阻率测量仪器，其特征是包括接收电场强度信号的电场传感器（1）和接收磁场强度信号的磁场传感器（2）、至少两套分别与所述电场传感器（1）和所述磁场传感器（2）的相连的前置放大器（3）和与所述前置放大器（3）的相连的数据采集器（4）以及一个采集控制、数据存储及处理系统（5），所述数据采集器（4）与所述采集控制、数据存储及处理系统（5）通过数据总线和控制总线相连；所述采集控制、数据存储及处理系统（5）存储有地层深度（H）与传播频率（F）之间的H—F基本关系式、电磁波电阻率（ ρ ）与深度（H）之间的 ρ —H基本关系式，以及根据所述基本关系式对数据进行存储与处理，实现对大地电磁波电阻率进行连续测量的程序序列。

4、根据权利要求3所述的测量仪器，其特征是所述采集控制、数据存储与处理系统（5）采用笔记本电脑并设有打印机端口。

5、根据权利要求3或4所述的测量仪器，其特征是所述电场传感器（1）包括至少一对铅电极，或者铜电极，或者其它不极化电极；所述磁场传感器采用多匝环形感应线圈，或者具有磁通负反馈的多匝环形感应线圈。

6、根据权利要求5所述的测量仪器，其特征是所述前置放大器（3）包括输入放大器、多级陷波器、低通滤波器及输出放大器。

7、根据权利要求6所述的测量仪器，其特征是所述数据采集器（4）为高速数据采集器。

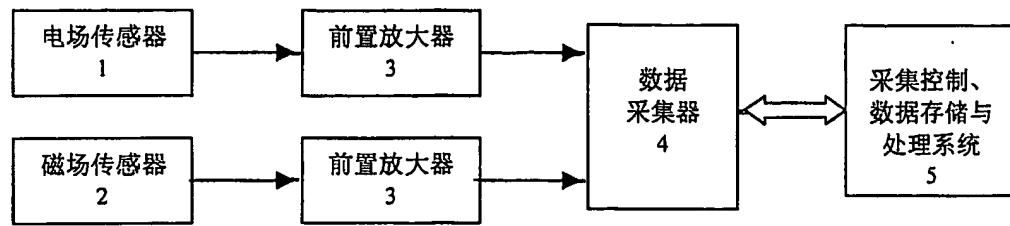


图 1

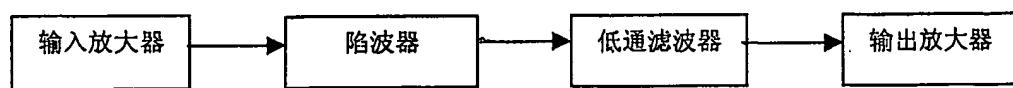


图 2

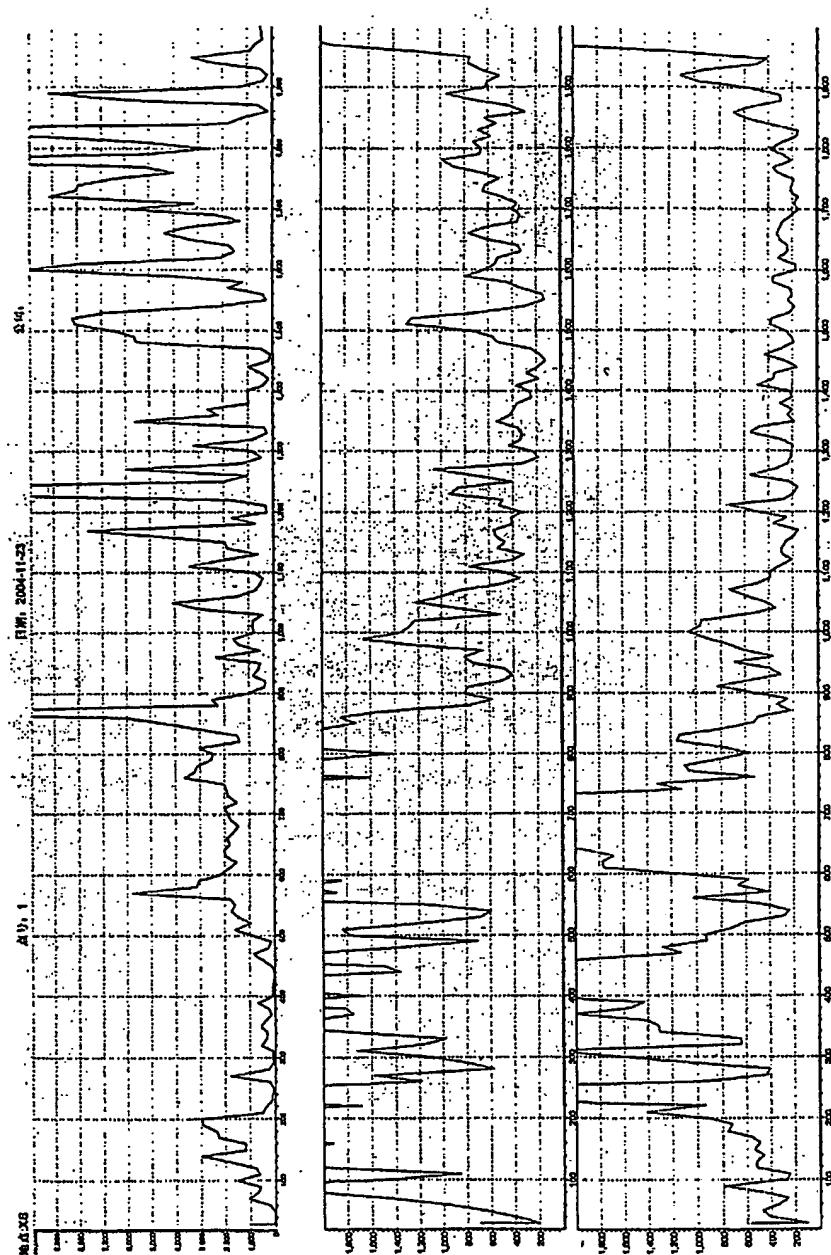


图 3